

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-071996

(43)Date of publication of application : 12.03.2002

(51)Int.Cl.

G02B 6/22

(21)Application number : 2000-266169

(71)Applicant : FUJIKURA LTD

(22)Date of filing : 01.09.2000

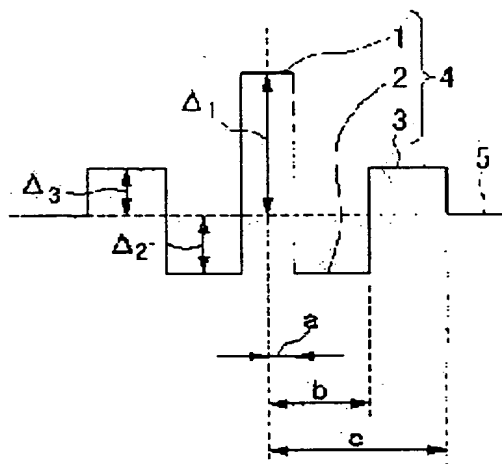
(72)Inventor : SAITO MANABU  
MATSUO SHOICHIRO

## (54) DISPERSION COMPENSATING OPTICAL FIBER AND OPTICAL FIBER COMPOSITE TRANSMISSION LINE

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a dispersion compensating optical fiber capable of compensating the wavelength dispersion of a single mode optical fiber for transmission over a wide wavelength-band.

SOLUTION: A core 4 consists of a center core part 1 having a refractive index higher than that of a clad 5, an intermediate core part 2 having a refractive index lower than that of the clad 5, and a ring core part 3 having a refractive index higher than that of the clad 5. In a wavelength  $1.55\ \mu\text{m}$ , negative wavelength dispersion is provided, a negative wavelength dispersion slope is provided, an effective core cross-sectional area is  $\geq 18\ \mu\text{m}^2$ , a bending loss is  $\leq 50\ \text{dB}$ , single mode propagation is substantially possible and the wavelength dispersion of a transmission line combined with the single mode optical fiber for transmission having positive wavelength dispersion is  $\leq -0.5$  to  $+0.5\ \text{ps/nm/km}$  in a continuous using wavelength band of a range of  $\geq 0.06\ \mu\text{m}$  wavelength width selected from the range of a wave length  $1.45\ \mu\text{m}$  to  $1.63\ \mu\text{m}$ , in the distribution compensating optical fiber.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 01.09.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 18.03.2003

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection] 2003-06608

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection] 17.04.2003

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-71996

(P2002-71996A)

(43) 公開日 平成14年3月12日 (2002.3.12)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

G 0 2 B 6/22

識別記号

F I

G 0 2 B 6/22

テームコード (参考)

2 H 0 5 0

審査請求 有 請求項の数 7 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願2000-266169 (P2000-266169)

(22) 出願日 平成12年9月1日 (2000.9.1)

(71) 出願人 000005186

株式会社フジクラ

東京都江東区木場1丁目5番1号

(72) 発明者 齋藤 学

千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社フジクラ佐倉事業所内

(72) 発明者 松尾 昌一郎

千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社フジクラ佐倉事業所内

(74) 代理人 100064908

弁理士 志賀 正武 (外3名)

Fターム (参考) 2H050 AB04X AB04Y AB05X AB10X

AB10Y AC09 AC28 AC71

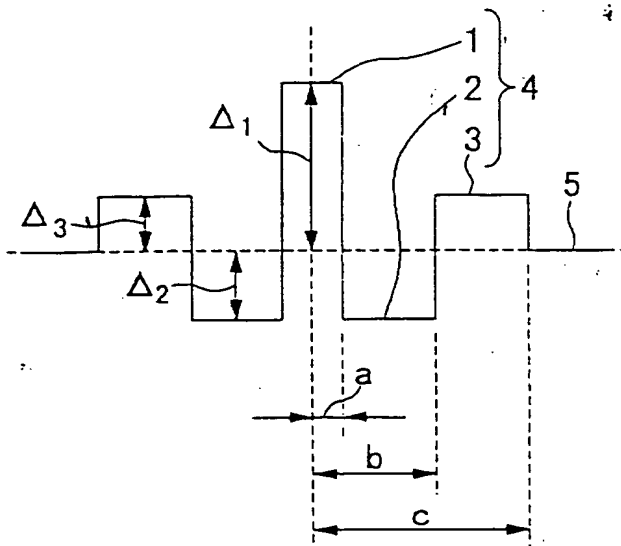
AC75 AC76 AC81 AD01

(54) 【発明の名称】 分散補償光ファイバおよび光ファイバ複合伝送路

(57) 【要約】

【課題】 広い波長帯域にわたって伝送用シングルモード光ファイバの波長分散を補償することができる分散補償光ファイバを提供する。

【解決手段】 コア4が、クラッド5より高い屈折率を有する中心コア部1と、前記クラッド5より低い屈折率を有する中間コア部2と、前記クラッド5よりも高い屈折率を有するリングコア部3とからなり、波長1.55  $\mu\text{m}$ において、負の波長分散を備え、負の波長分散スロープを有し、有効コア断面積が18  $\mu\text{m}^2$ 以上、曲げ損失が50 dB/m以下、かつ実質的にシングルモード伝搬可能であり、正の波長分散を有する伝送用シングルモード光ファイバと組み合わせた伝送路の波長分散が、波長1.45  $\mu\text{m}$ ~1.63  $\mu\text{m}$ の範囲から選択した連続する0.06  $\mu\text{m}$ 以上の範囲の使用波長帯において、-0.5~+0.5 ps/nm/km以下の分散補償光ファイバを構成する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 コアと、その外周上に設けられたクラッドとを備え、

該コアが、前記クラッドより高い屈折率を有する中心コア部と、該中心コア部の外周上に設けられ、前記クラッドより低い屈折率を有する中間コア部と、該中間コア部の外周上に設けられ、前記クラッドよりも高い屈折率を有するリングコア部とからなり、

波長 $1.55\mu\text{m}$ において、波長分散が $-40\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以下、 $-65\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以上で、負の波長分散スロープを有し、有効コア断面積が $18\mu\text{m}^2$ 以上、曲げ損失が $50\text{dB}/\text{m}$ 以下であり、かつ実質的にシングルモード伝搬可能なカットオフ波長を有する分散補償光ファイバであって、

波長 $1.55\mu\text{m}$ において、有効コア断面積が $40\mu\text{m}^2$ 以上であり、正の波長分散を有し、かつ実質的にシングルモード伝搬可能なカットオフ波長を有する伝送用シングルモード光ファイバと組み合わせた光ファイバ複合伝送路の波長分散が、波長 $1.45\mu\text{m}\sim 1.63\mu\text{m}$ の範囲から選択した連続する $0.06\mu\text{m}$ 以上の範囲の使用波長帯において、 $-0.5\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以上、 $+0.5\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以下であることを特徴とする分散補償光ファイバ。

【請求項2】 前記伝送用シングルモード光ファイバの波長 $1.55\mu\text{m}$ における有効コア断面積が $70\mu\text{m}^2$ 以上であり、波長分散が $+16\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以上、 $+22\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以下であることを特徴とする請求項1に記載の分散補償光ファイバ。

【請求項3】 請求項2に記載の分散補償光ファイバにおいて、光ファイバ複合伝送路の波長分散が、波長 $1.45\mu\text{m}\sim 1.63\mu\text{m}$ の範囲から選択した連続する $0.10\mu\text{m}$ 以上の範囲の使用波長帯において、 $-0.5\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以上、 $+0.5\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以下であることを特徴とする分散補償光ファイバ。

【請求項4】 請求項3に記載の分散補償光ファイバにおいて、光ファイバ複合伝送路の波長分散が、波長 $1.45\mu\text{m}\sim 1.63\mu\text{m}$ の範囲から選択した連続する $0.10\mu\text{m}$ 以上の範囲の使用波長帯において、 $-0.2\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以上、 $+0.2\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以下であることを特徴とする分散補償光ファイバ。

【請求項5】 請求項1～4のいずれか一項に記載の分散補償光ファイバにおいて、中心コア部と、中間コア部と、リングコア部について、それぞれ半径およびクラッドとの比屈折率差を、 $(a, \Delta 1)$ 、 $(b, \Delta 2)$ 、 $(c, \Delta 3)$ としたとき、以下の(A)～(D)の条件を満足することを特徴とする分散補償光ファイバ。

(A)  $0.95 \leq \Delta 1 \leq 1.35$ 、(B)  $V1 = \Delta 1$ 、 $V2 = \Delta 2 \times \{(b/a)^2 - 1\}$ 、 $V3 = \Delta 3 \times \{(c/a)^2 - (b/a)^2\}$ としたときに、 $-3.5 \leq V2/V1 < 0$ 、かつ $0.5 \leq V3/V1 \leq 4.5$ 、

(C)  $x = c/b$ 、 $y = \Delta 3/\Delta 2$ としたとき、 $\alpha = -y(x-1)/\Delta 1$ で表される $\alpha$ が、 $0.10 \leq \alpha \leq 0.45$ 、(D) 波長 $1.55\mu\text{m}$ における波長分散スロープを波長分散で割った値が $0.0025\text{nm}^{-1}$ 以上、 $0.0035\text{nm}^{-1}$ 以下。  $\text{ps}/\text{nm}^2$   $400 \sim 250$

【請求項6】 請求項1～5のいずれか一項に記載の分散補償光ファイバと、伝送用シングルモード光ファイバとからなる光ファイバ複合伝送路であって、前記伝送用シングルモード光ファイバが、波長 $1.55\mu\text{m}$ において、有効コア断面積が $40\mu\text{m}^2$ 以上であり、正の波長分散を有し、かつ実質的にシングルモード伝搬可能なカットオフ波長を有することを特徴とする光ファイバ複合伝送路。

【請求項7】 請求項6に記載の光ファイバ複合伝送路において、伝送用シングルモード光ファイバが、波長 $1.55\mu\text{m}$ において、有効コア断面積が $70\mu\text{m}^2$ 以上であり、波長分散が $+16\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以上、 $+22\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以下であることを特徴とする光ファイバ複合伝送路。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は分散補償光ファイバに関し、 $1.3\mu\text{m}$ 用シングルモード光ファイバに代表される、 $1.45\sim 1.63\mu\text{m}$ 帯から選択した使用波長帯よりも短波長側に零分散波長を有するシングルモード光ファイバを用いて、前記使用波長帯で光信号を送信する際に生じる波長分散を広い波長帯域にわたって補償するものである。

【0002】

【従来の技術】 エルビウム添加光ファイバ増幅器が実用化されたことにより、波長 $1.53\sim 1.63\mu\text{m}$ 帯では長距離無再生中継など光増幅器を用いたシステムが既に商品化されている。光ファイバ伝送システムにおいては、通信容量の増大に伴い、波長帯域の広帯域化、波長多重数の増加が急激に進められている。光ファイバ伝送システムとしては、 $1.3\mu\text{m}$ 帯シングルモード光ファイバに代表される、 $1.55\mu\text{m}$ 帯で正の波長分散を有する伝送用シングルモード光ファイバと、比較的絶対値が大きい負の波長分散を有する分散補償光ファイバとを組み合わせた分散マネジメントシステムなどが提案されている。

【0003】 前記伝送用シングルモード光ファイバは、波長分散の波長依存性を示す波長分散スロープが比較的小さく、広い波長帯域での伝送を行う波長多重伝送に適している。また、有効コア断面積が比較的大きいため、後述するように非線形効果を抑制することができ、波長多重伝送などに適している。しかしながら、従来の分散補償光ファイバは、波長分散の波長依存性が大きく、前記伝送用シングルモード光ファイバに対応していないため、広い波長帯域にわたって伝送用シングルモード光フ

ファイバの波長分散を補償できなかった。

【0004】そこで、特開平10-325913号公報などにおいては、波長分散とともに波長分散スロープも補償することができる波長分散スロープ補償型の分散補償光ファイバが開示されている。図7は従来の波長分散スロープ補償型の分散補償光ファイバの屈折率プロファイルの一例を示したものである。この分散補償光ファイバは、コア14とその外周上の設けられたクラッド15とからなり、このコア14は、中心に設けられた中心コア部11と、その外周上に設けられた中間コア部12とから構成されている。中心コア部11の屈折率はクラッド15よりも高く、中間コア部12の屈折率はクラッド15よりも低い。このように屈折率プロファイルがW型であるため、この分散補償光ファイバをW型分散補償光ファイバとよぶ。

【0005】図中、 $\Delta_{n1}$ はクラッド15の屈折率を基準(零)にした中心コア部11の比屈折率差、 $\Delta_{n2}$ はクラッド15の屈折率を基準にした中間コア部12の比屈折率差である。また、 $a_1$ は中心コア部11の半径、 $b_1$ は中間コア部12の半径である。

【0006】図8は、1.3 $\mu\text{m}$ 用シングルモード光ファイバなどの伝送用シングルモード光ファイバと、このW型分散補償光ファイバ、およびこれらを組み合わせた光ファイバ複合伝送路の波長と波長分散との関係の一例を示したグラフである。なお、波長は、いわゆるC-Bandといわれる1.55 $\mu\text{m}$ 帯(1530~1565nm付近の波長帯域)である。伝送用シングルモード光ファイバの正の波長分散と、正の波長分散スロープ(曲線の傾き)を補償すべく、このW型分散補償光ファイバは負の波長分散と負の分散スロープを備えている。W型分散補償光ファイバにおいては、 $\Delta_{n1}$ 、 $\Delta_{n2}$ 、 $a_1$ 、 $b_1$ の値を適切に選択して設計することにより、このグラフに示したように、1.55 $\mu\text{m}$ 帯における波長分散が小さい光ファイバ複合伝送路を構築することができる。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、従来のW型分散補償光ファイバは、1.55 $\mu\text{m}$ 帯以外の波長帯においては、伝送用シングルモード光ファイバの波長分散および波長分散スロープを補償することができなかった。よって、いわゆるS-Band(1450~1530nm付近の短い波長帯域)、L-Band(1565~1630nm付近の長い波長帯域)などの他の波長帯域においては、光ファイバ複合伝送路において、例えば数ps/nm/kmの波長分散が残留するという問題があり、波長多重化、高速長距離伝送などに適用するにおいて、不十分であった。

【0008】また、波長多重伝送、高速長距離伝送に適した光ファイバ伝送システムを構築するためには、非線形効果を抑制することが不可欠である。このためには、光ファイバの有効コア断面積(Aeff)を拡大するこ

とが有効である。しかしながら、従来のW型分散補償光ファイバにおいては、有効コア断面積を拡大すると、波長分散の絶対値が小さくなる傾向があり、伝送用シングルモード光ファイバを補償するために必要な長さが長くなるという問題があった。例えば上述の特開平10-325913号公報に開示されたモードフィールド径5.5 $\mu\text{m}$ 、有効コア断面積約21 $\mu\text{m}^2$ の分散補償光ファイバは、伝送用シングルモード光ファイバのファイバ長と同等あるいはそれ以上の長さが必要であった。

【0009】本発明は前記事情に鑑てなされたもので、広い波長帯域にわたって伝送用シングルモード光ファイバの波長分散を補償することができる分散補償光ファイバを提供することと課題とする。また、有効コア断面積を拡大し、非線形効果を抑制することができる分散補償光ファイバを提供することを課題とする。さらには、有効コア断面積を拡大しても波長分散の絶対値が小さくなり、伝送用シングルモード光ファイバを補償するために必要とされる長さが比較的短い分散補償光ファイバを提供することを課題とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】前記課題を解決するために、本発明の第1の分散補償光ファイバは、コアと、その外周上に設けられたクラッドとを備え、該コアが、前記クラッドより高い屈折率を有する中心コア部と、該中心コア部の外周上に設けられ、前記クラッドより低い屈折率を有する中間コア部と、該中間コア部の外周上に設けられ、前記クラッドよりも高い屈折率を有するリングコア部とからなり、波長1.55 $\mu\text{m}$ において、波長分散が-40ps/nm/km以下、-65ps/nm/km以上で、負の波長分散スロープを有し、有効コア断面積が18 $\mu\text{m}^2$ 以上、曲げ損失が50dB/m以下であり、かつ実質的にシングルモード伝搬可能なカットオフ波長を有する分散補償光ファイバであって、波長1.55 $\mu\text{m}$ において、有効コア断面積が40 $\mu\text{m}^2$ 以上であり、正の波長分散を有し、かつ実質的にシングルモード伝搬可能なカットオフ波長を有する伝送用シングルモード光ファイバと組み合わせた光ファイバ複合伝送路の波長分散が、波長1.45 $\mu\text{m}$ ~1.63 $\mu\text{m}$ の範囲から選択した連続する0.06 $\mu\text{m}$ 以上の範囲の使用波長帯において、-0.5ps/nm/km以上、+0.5ps/nm/km以下であることを特徴とする。第2の分散補償光ファイバは、第1の分散補償光ファイバにおいて、前記伝送用シングルモード光ファイバの波長1.55 $\mu\text{m}$ における有効コア断面積が70 $\mu\text{m}^2$ 以上であり、波長分散が+16ps/nm/km以上、+22ps/nm/km以下であることを特徴とする。第3の分散補償光ファイバは、第2の分散補償光ファイバにおいて、光ファイバ複合伝送路の波長分散が、波長1.45 $\mu\text{m}$ ~1.63 $\mu\text{m}$ の範囲から選択した連続する0.10 $\mu\text{m}$ 以上の範囲の使用波長帯において、-0.5ps

／nm／km以上、 $+0.5 \text{ ps/nm/km}$ 以下であることを特徴とする。第4の分散補償光ファイバは、第3の分散補償光ファイバにおいて、光ファイバ複合伝送路の波長分散が、波長 $1.45 \mu\text{m} \sim 1.63 \mu\text{m}$ の範囲から選択した連続する $0.10 \mu\text{m}$ 以上の範囲の使用波長帯において、 $-0.2 \text{ ps/nm/km}$ 以上、 $+0.2 \text{ ps/nm/km}$ 以下であることを特徴とする。第5の分散補償光ファイバは、第1～4のいずれかひとつの分散補償光ファイバにおいて、中心コア部と、中間コア部と、リングコア部について、それぞれ半径およびクラッドとの比屈折率差を、 $(a, \Delta 1)$ 、 $(b, \Delta 2)$ 、 $(c, \Delta 3)$ としたとき、以下の(A)～(D)の条件を満足することを特徴とする。

(A)  $0.95 \leq \Delta 1 \leq 1.35$ 、(B)  $V1 = \Delta 1$ 、 $V2 = \Delta 2 \times \{ (b/a)^2 - 1 \}$ 、 $V3 = \Delta 3 \times \{ (c/a)^2 - (b/a)^2 \}$ としたときに、 $-8.5 \leq V2/V1 < 0$ 、かつ $0.5 \leq V3/V1 \leq 4.5$ 、(C)  $x = c/b$ 、 $y = \Delta 3/\Delta 2$ としたとき、 $\alpha = -y(x-1)/\Delta 1$ で表される $\alpha$ が、 $0.10 \leq \alpha \leq 0.45$ 、(D) 波長 $1.55 \mu\text{m}$ における波長分散スロープを波長分散で割った値が $0.0025 \text{ nm}^{-1}$ 以上、 $0.0035 \text{ nm}^{-1}$ 以下。そして、本発明においては、第1～5のいずれかひとつの分散補償光ファイバと、伝送用シングルモード光ファイバとからなる光ファイバ複合伝送路であって、前記伝送用シングルモード光ファイバが、波長 $1.55 \mu\text{m}$ において、有効コア断面積が $40 \mu\text{m}^2$ 以上であり、正の波長分散を有し、かつ実質的にシングルモード伝搬可能なカットオフ波長を有することを特徴とする光ファイバ複合伝送路を提供することができる。さらには、この光ファイバ複合伝送路において、伝送用シングルモード光ファイバが、波長 $1.55 \mu\text{m}$ において、有効コア断面積が $70 \mu\text{m}^2$ 以上であり、波長分散が $+16 \text{ ps/nm/km}$ 以上、 $+22 \text{ ps/nm/km}$ 以下であると好ましい。

#### [0011]

【発明の実施の形態】図1は本発明の分散補償光ファイバの屈折率プロファイルの一例を示したもので、この屈折率プロファイルはセグメント型と呼ばれる。この分散補償光ファイバは、コア4と、その外周上に設けられたクラッド5とからなる。このコア4は中心に設けられた中心コア部1と、その外周上に設けられた中間コア部2と、その外周上に設けられたリングコア部3とからなる3層構造を備えている。

[0012] 前記クラッド5は、実質的に一定の屈折率を備えている。また、中心コア部1とリングコア部3の屈折率はクラッド5よりも高く、中間コア部2の屈折率はクラッド5よりも低い。中心コア部1とリングコア部3は、例えばゲルマニウム添加石英ガラスなどからなり、中間コア部2は、純粋石英ガラス、またはフッ素添加石英ガラスなどからなり、クラッド5は純粋石英ガラ

ス、またはフッ素添加石英ガラスなどからなる。

[0013] また、 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、および $\Delta 3$ は、それぞれ、クラッド5の屈折率を基準（零）にした中心コア部1、中間コア部2およびリングコア部3の比屈折率差である。 $a$ 、 $b$ 、および $c$ は、それぞれ、中心コア部1、中間コア部2およびリングコア部3の半径である。

[0014] このようなセグメント型の屈折率プロファイルを採用し、かつ各層の比屈折率差や半径の比率などを適切に設定することにより、特に波長分散の長波長側における変動が小さく、S-BandからC-Band、あるいはC-BandからL-Bandなどの広い波長帯域で使用可能な分散補償光ファイバを得ることができる。これと同時に有効コア断面積を拡大し、非線形効果を抑制することもできる。この分散補償光ファイバは、VAD法、MCVD法、PCVD法などの公知の方法によって得られたファイバ母材から線引きすることによって製造することができる。また、実質的に図1に示した屈折率プロファイルを備えていれば、各層の境界が明確な完全なステップ形状である必要はなく、なだらかに変化する形状であってもよい。

[0015] 本発明の分散補償光ファイバの使用波長帯は、波長 $1.45 \sim 1.63 \mu\text{m}$ から連続する $0.06 \mu\text{m}$ 以上、好ましくは $0.10 \mu\text{m}$ 以上の波長幅を備えた範囲が選択される。本発明においては、このように広い波長帯域において、後述する好ましい特性を実現することができる。

[0016] また、分散補償光ファイバの波長分散の絶対値が大きいほど、伝送用シングルモード光ファイバの長さに対して短い使用長さで波長分散を補償することができ、コスト、伝送損失などの観点から好ましい。しかし、波長分散の絶対値が大きすぎると有効コア断面積が小さくなるため、非線形効果の抑制の観点から不都合である。そのため、本発明の分散補償光ファイバの波長分散は、波長 $1.55 \mu\text{m}$ において、 $-40 \text{ ps/nm/km}$ 以下、 $-65 \text{ ps/nm/km}$ 以上に設定するのが望ましい。また、本発明の分散補償光ファイバは、伝送用シングルモード光ファイバの正の波長分散と正の波長分散スロープを補償するため、負の波長分散スロープをもつ必要がある。伝送用シングルモード光ファイバの特性にもよるが、例えば使用波長帯において、 $-0.22 \sim -0.11$ の範囲の負の波長分散スロープを有すると好ましい。

[0017] また、本発明の分散補償光ファイバは、波長 $1.55 \mu\text{m}$ において、有効コア断面積を $18 \mu\text{m}^2$ 以上、好ましくは $20 \mu\text{m}^2$ 以上に拡大することができるため、非線形光学効果の抑制の観点から好ましい。有効コア断面積の上限値は特に限定しないが、他の特性とのバランスの観点から $30 \mu\text{m}^2$ 程度とされる。なお、有効コア断面積(Aeff)は以下の式によって定義されるものである。

【0018】

【数1】

$$A_{\text{eff}} = \frac{2\pi \left\{ \int_0^\infty r |E(r)|^2 dr \right\}^2}{\int_0^\infty r |E(r)|^4 dr}$$

r:コアの半径

E(r):半径rでの電界強度

【0019】また、曲げ損失は、波長1.55μmにおいて、曲げ直径(2R)が20mmの条件の値であり、本発明においては、曲げ損失が50dB/m以下、好ましくは20dB/m以下の分散補償光ファイバが得られる。50dB/m以下をこえると製造時、敷設時などに印加されるマクロベンドによって伝送損失が劣化する場合がある。

【0020】また、本発明の分散補償光ファイバはシングルモード光ファイバなので、実質的にシングルモード伝搬可能なカットオフ波長を有することが必要である。カットオフ波長は一般にCCITT法などの2m法による値が用いられるが、実際の長尺の状態では、2m法による値が1.55μmよりも長くてもシングルモード伝搬を行うことができる。したがって、使用長さなどの実際の使用条件によって適切なカットオフ波長が得られる\*

伝送損失 [dB/km]	波長分散 [ps/nm/km]	分散スロープ [ps/nm <sup>2</sup> /km]	2mλc [μm <sup>2</sup> ]	A <sub>eff</sub> [μm <sup>2</sup> ]	曲げ損失 [dB/m]
0.186	+20.2	+0.062	1.45	120	14.4

なお、表中、2mλcとは2m法によるカットオフ波長の測定値である。

【0023】残留分散の幅が小さい程、光ファイバ複合伝送路の波長分散の波長依存性が小さく、すなわち広い波長帯域において伝送用シングルモード光ファイバの波長分散と波長分散スロープが補償され、分散補償特性が優れていることを意味する。横軸は、分散補償光ファイバの波長1.55μmにおける有効コア断面積であり、大きいほど非線型効果抑制の観点から好ましい。したがって、グラフの右下部分にプロットされる特性を備えていると好ましい。

【0024】これらのグラフを比較すると、セグメント型の分散補償光ファイバの特性を表わす点は、W型分散補償光ファイバよりも右下に分布している。よって、広い波長帯域において分散補償特性に優れ、かつ有効コア断面積が大きいものが得られることがわかる。

【0025】また、本発明の分散補償光ファイバにおいては、構造パラメータが以下の(A)～(D)の条件を満足すると好ましい。

(A) 0.95 ≤ Δ1 ≤ 1.35、(B) V1 = Δ1、V2 = Δ2 × {(b/a)<sup>-1</sup> - 1}、V3 = Δ3 × {(c/a)<sup>-1</sup> - (b/a)<sup>-1</sup>}としたとき、-3.5 ≤

\* ように設計する必要がある。

【0021】図2(a)～図2(c)は、本発明のセグメント型の分散補償光ファイバと図7に示したW型分散補償光ファイバの分散補償特性を波長区間毎に比較したグラフである。グラフの縦軸の残留分散の幅とは、以下の表1に示した特性を備えた伝送用シングルモード光ファイバと組み合わせて光ファイバ複合伝送路を構成し、例えば図3に示したグラフのように波長と波長分散との関係を測定し、波長の区間毎に波長分散の最大値から最小値を引いて求めた値(d1)である。グラフのプロットは、セグメント型、W型のそれぞれについて、構造パラメータを変更して複数のものを製造して光ファイバ複合伝送路を構築し、測定した結果である。これらの分散補償光ファイバは、いずれもこれらの波長区間において実質的にシングルモード伝搬可能なカットオフ波長を有し、かつ曲げ損失は50dB/m以下であり、側圧に対する十分な耐性を備えている。また、分散補償光ファイバの使用長さは、光ファイバ複合伝送路全体の波長1.55μmにおける波長分散が零になるように設計した。また、各分散補償光ファイバにおいて、伝送用シングルモード光ファイバとの長さの比率は等しく設計した。

【0022】

【表1】

V2/V1 < 0、かつ 0.5 ≤ V3/V1 ≤ 4.5、(C) x = c/b、y = Δ3/Δ2としたとき、α = y(x-1)/Δ1で表されるαが、0.10 ≤ α ≤ 0.45、(D) 波長1.55μmにおける波長分散スロープを波長分散で割った値が0.0025nm<sup>-1</sup>以上、0.0035nm<sup>-1</sup>以下。

【0026】前記(A)については、Δ1が1.35をこえると有効コア断面積が小さくなり、0.95未満では広い波長帯域での分散補償効果が低減するためである。前記(B)については、V2/V1が-3.5未満であると伝送損失が大きくなるという問題があり、また、V3/V1が4.5をこえるとカットオフ波長が長くなり、また、大きすぎても、小さすぎても、波長分散スロープの補償ができなくなるためである。前記(C)は、広い波長帯域で波長分散を補償するための条件であり、αが大きすぎると広い波長帯域での補償ができなくなり、小さすぎると曲げ損失が大きくなり、マクロベンドに対する耐性が弱くなるためである。前記(D)は補償対象とする一般的な伝送用シングルモード光ファイバの波長分散スロープを波長分散で割った値とほぼ同等の範囲であり、この伝送用シングルモード光ファイバの波長分散を広い波長帯域で補償するための条件である。

【0027】なお、これら(A)～(D)の条件を満足していても、必ずしも上述のような好ましい特性を備えた本発明の分散補償光ファイバを得ることはできない。本発明の分散補償光ファイバは好ましくは(A)～

(D)を満足するものから適切な複数の構造パラメータの組み合わせについて試行錯誤を行い、選択することによって得られるものだからである。そのため、本発明の分散補償光ファイバは、屈折率プロファイルおよび特性値によって特定することとした。このように広い波長帯域において、一般的に用いられている1.3 $\mu\text{m}$ 用シングルモード光ファイバも含む伝送用シングルモード光ファイバの正の波長分散を補償できる特性は、従来の分散補償光ファイバでは得ることができなかったことを言うまでもない。

【0028】本発明の分散補償光ファイバは、具体的には例えば以下のような伝送用シングルモード光ファイバの波長分散を補償することができる。すなわち、波長1.55 $\mu\text{m}$ において、有効コア断面積が40 $\mu\text{m}^2$ 以上であり、正の波長分散を有し、かつ実質的にシングルモード伝搬可能なカットオフ波長を有するものである。そして、この伝送用シングルモード光ファイバと組み合わせて光ファイバ複合伝送路を構築し、その全体の波長分散を、波長1.45 $\mu\text{m}$ ～1.63 $\mu\text{m}$ の範囲から選択した連続する0.06 $\mu\text{m}$ 以上の範囲の使用波長帯において、-0.5ps/nm/km以上、+0.5ps/nm/km以下とすることができる。

【0029】光ファイバ複合伝送路における分散補償光ファイバの使用長さは伝送用シングルモード光ファイバの波長分散および使用長さによって異なる。例えば1.\*

\* 55 $\mu\text{m}$ における単位長さ当たりの波長分散が+16ps/nm/km～+18ps/nm/kmの一般的な伝送用シングルモード光ファイバを補償するにあたっては、この伝送用シングルモード光ファイバ光ファイバの長さに対して1/3～1/5倍程度の比率で本発明の分散補償光ファイバを用いることにより、上述のような広い波長帯域において、小さい波長分散を備えた光ファイバ複合伝送路を構築することができる。

【0030】さらに好ましくは、本発明の分散補償光ファイバは、波長1.55 $\mu\text{m}$ における有効コア断面積が70 $\mu\text{m}^2$ 以上であり、波長分散が+16ps/nm/km以上、+22ps/nm/km以下の伝送用シングルモード光ファイバと組み合わせたときに、波長1.45 $\mu\text{m}$ ～1.63 $\mu\text{m}$ の範囲から選択した連続する0.06 $\mu\text{m}$ 以上、好ましくは0.10 $\mu\text{m}$ 以上の範囲の使用波長帯において、光ファイバ複合伝送路全体の波長分散を、-0.5ps/nm/km以上、+0.5ps/nm/km以下、好ましくは-0.2ps/nm/km以上、+0.2ps/nm/km以下にすることができる。

【0031】

【実施例】以下、本発明を実施例を示して詳しく説明する。

(実施例1) 図1に示したセグメント型の分散補償光ファイバを作製した。その光学特性は表2に示す通りであり、良好であった。

【0032】

【表2】

コア径(c) [ $\mu\text{m}$ ]	$\Delta_1$	$\Delta_2$	$\Delta_3$	b/a	c/a
14.7	1.1	-0.56	0.12	2.2	4
伝送損失 [dB/km]	波長分散 [ps/nm/km]	分散スロープ* [ps/nm <sup>2</sup> /km]	2m $\lambda$ c [ $\mu\text{m}^2$ ]	Aeff [ $\mu\text{m}^2$ ]	曲げ損失 [dB/m]
0.302	-54	-0.163	0.85	21.2	15.6

【0033】そして、この分散補償光ファイバ3.3kmと表1に示した特性を備えた伝送用シングルモード光ファイバ8.8kmとを組み合わせる光ファイバ複合伝送路を構築した。なお、これらの光ファイバの使用長さは波長1.55 $\mu\text{m}$ における光ファイバ複合伝送路全体の波長分散が零となるように設定した。図4(a)は分散補償光ファイバと伝送用シングルモード光ファイバの波長と波長分散との関係、図4(b)は光ファイバ複合伝送路の波長と波長分散との関係を示したグラフであ \*

※る。C-BandからL-Bandまでの約0.1 $\mu\text{m}$ の広い範囲において、-0.15～+0.1ps/nm/kmの範囲の小さい波長分散を備えた光ファイバ複合伝送路を構築することができた。

【0034】(実施例2) 図1に示したセグメント型の分散補償光ファイバを作製した。その光学特性は表3に示す通りであり、良好であった。

【0035】

【表3】

コア径(c) [ $\mu\text{m}$ ]	$\Delta_1$	$\Delta_2$	$\Delta_3$	b/a	c/a
13.2	1.1	-0.52	0.68	2.6	3.4
伝送損失 [dB/km]	波長分散 [ps/nm/km]	分散スロープ* [ps/nm <sup>2</sup> /km]	2m $\lambda$ c [ $\mu\text{m}^2$ ]	Aeff [ $\mu\text{m}^2$ ]	曲げ損失 [dB/m]
0.298	-54	-0.171	1.59	22.7	0.8



【0036】そして、この分散補償光ファイバ3.3 kmと表1に示した特性を備えた伝送用シングルモード光ファイバ8.8 kmとを組み合わせる光ファイバ複合伝送路を構築した。なお、これらの光ファイバの使用長さは波長1.55  $\mu\text{m}$ における光ファイバ複合伝送路全体の波長分散が0となるように設定した。図5(a)は分散補償光ファイバと伝送用シングルモード光ファイバの波長と波長分散との関係、図5(b)は光ファイバ複合伝送路の波長と波長分散との関係を示したグラフであ \*

コア径( $b_1$ ) [ $\mu\text{m}$ ]	$\Delta_{11}$	$\Delta_{12}$	$b_1/a_1$			
7.9	1.24	-0.5	2.4			
伝送損失 [dB/km]	波長分散 [ps/nm/km]	分散スロープ [ps/nm <sup>2</sup> /km]	$2m\lambda c$ [ $\mu\text{m}^2$ ]	$A_{\text{eff}}$ [ $\mu\text{m}^2$ ]	曲げ損失 [dB/m]	
0.311	-54	-0.161	0.83	18.1	20.9	

【0039】そして、この分散補償光ファイバ3.3 kmと表1に示した特性を備えた伝送用シングルモード光ファイバ8.8 kmとを組み合わせる光ファイバ複合伝送路を構築した。なお、これらの光ファイバの使用長さは波長1.55  $\mu\text{m}$ における光ファイバ複合伝送路全体の波長分散が0となるように設定した。図6(a)は分散補償光ファイバと伝送用シングルモード光ファイバの波長と波長分散との関係、図6(b)は光ファイバ複合伝送路の波長と波長分散との関係を示したグラフである。C-Bandでは伝送路全体の波長分散を-0.3 ~ 0 ps/nm/kmと小さくすることができたが、その他の波長帯域では数 ps/nm/kmであった。

【0040】以上の実施例および比較例の結果より、本発明に係る実施例においては、広い波長帯域にわたって伝送用シングルモード光ファイバの波長分散を補償することができ、かつ有効コア断面積を拡大し、非線形効果を抑制することができることが明らかとなった。

【0041】

【発明の効果】以上のように、本発明の分散補償光ファイバは、広い波長帯域にわたって伝送用シングルモード光ファイバの波長分散を補償することができ、かつ有効コア断面積を拡大し、非線形効果を抑制することができる。よって、波長多重伝送、長距離高速伝送に適した光ファイバ複合伝送路を提供することができる。また、有効コア断面積を拡大しても波長分散の絶対値が小さくなりすぎないため、比較的短い使用長さで伝送用シングルモード光ファイバの波長分散を補償することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明のセグメント型の分散補償光ファイバの屈折率プロファイルの一例を示した説明図である。 ※

\*る。S-BandからC-Bandまでの約0.115  $\mu\text{m}$ の広い範囲にわたり、-0.4 ~ +0.4 ps/nm/kmの範囲の小さな波長分散を備えた光ファイバ複合伝送路を構築することができた。

【0037】(比較例1) 図7に示したW型分散補償光ファイバを作製した。その光学特性は表4に示す通りであり、良好であった。

【0038】

【表4】

※【図2】 図2(a) ~ 図2(c)は、本発明のセグメント型の分散補償光ファイバとW型分散補償光ファイバの分散補償特性を波長区間毎に比較したグラフであって、図2(a)は波長1.53 ~ 1.57  $\mu\text{m}$ 、図2(b)は波長1.45 ~ 1.53  $\mu\text{m}$ 、図2(c)は波長1.53 ~ 1.63  $\mu\text{m}$ の区間のグラフである。

【図3】 残留分散の測定例を示したグラフである。

【図4】 実施例1において、図4(a)は分散補償光ファイバと伝送用シングルモード光ファイバの波長と波長分散との関係、図4(b)は光ファイバ複合伝送路の波長と波長分散との関係を示したグラフである。

【図5】 実施例2において、図5(a)は分散補償光ファイバと伝送用シングルモード光ファイバの波長と波長分散との関係、図5(b)は光ファイバ複合伝送路の波長と波長分散との関係を示したグラフである。

【図6】 比較例1において、図6(a)は分散補償光ファイバと伝送用シングルモード光ファイバの波長と波長分散との関係、図6(b)は光ファイバ複合伝送路の波長と波長分散との関係を示したグラフである。

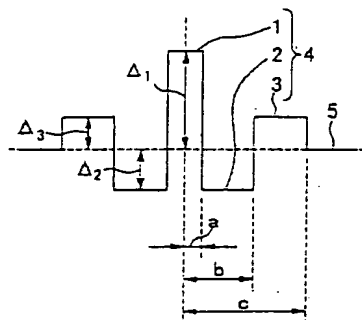
【図7】 従来の分散補償光ファイバの屈折率プロファイルの一例を示した図である。

【図8】 1.3  $\mu\text{m}$ 用シングルモード光ファイバなどの伝送用シングルモード光ファイバと、このW型分散補償光ファイバ、およびこれらを組み合わせた伝送路全体の波長と波長分散との関係の一例を示したグラフである。

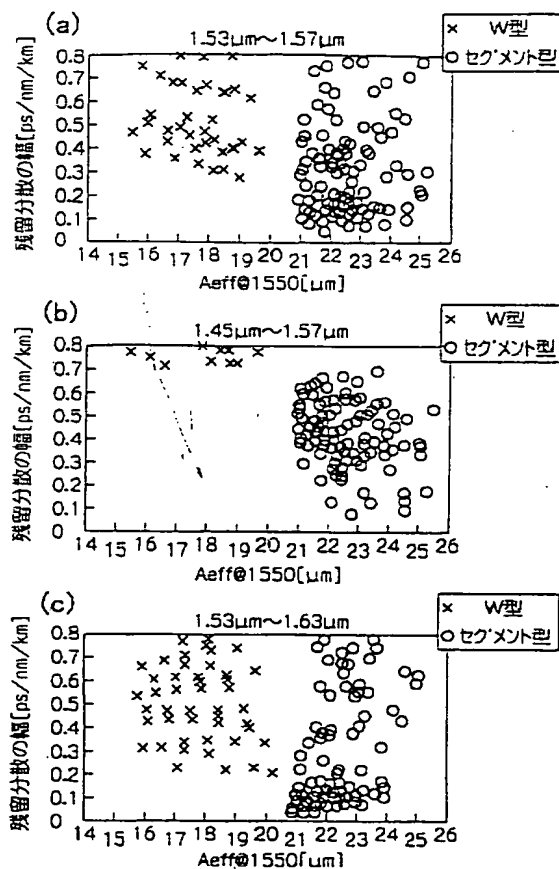
【符号の説明】

1...中心コア部、2...中間コア部、3...リングコア部、4...コア、5...クラッド。

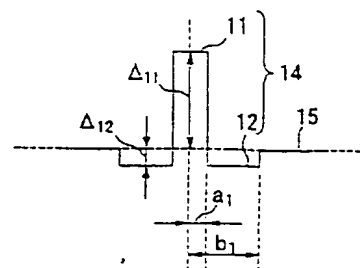
【図1】



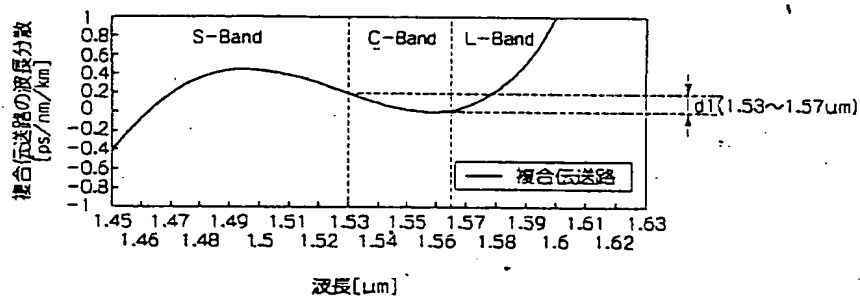
【図2】



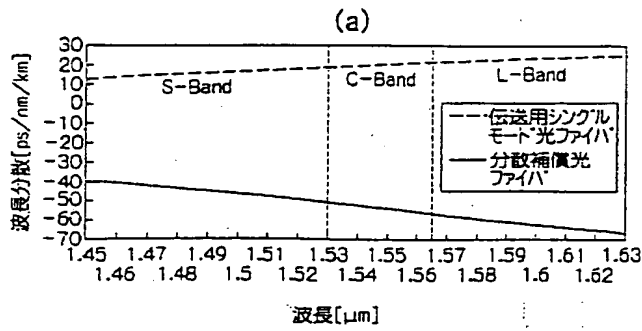
【図7】



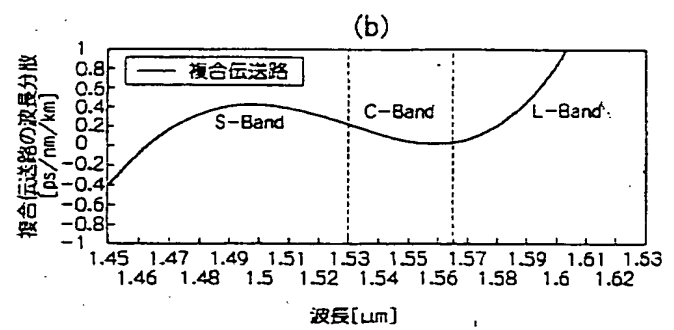
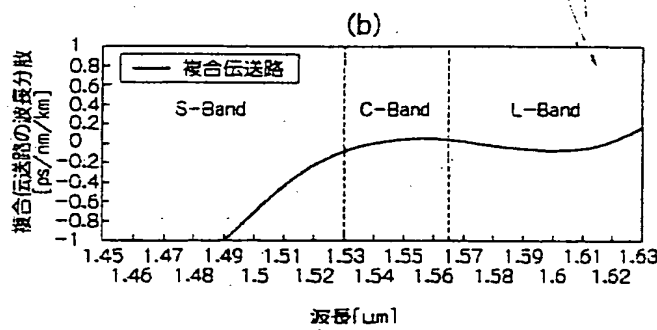
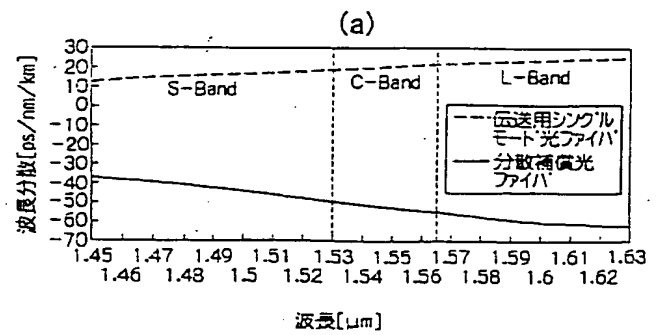
【図3】



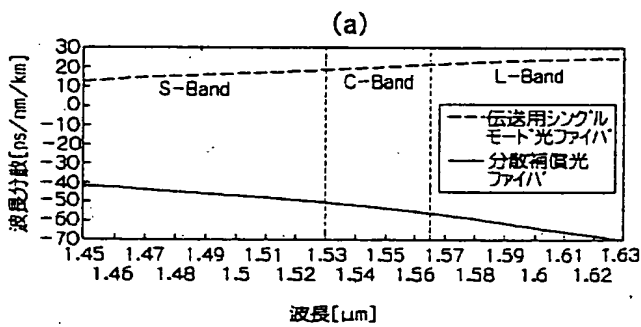
【図4】



【図5】



【図6】



【図8】

